

Гидрогеосейсмологические исследования на Камчатке: история и результаты

Г.Н. Копылова

Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая геофизическая служба РАН», г. Петропавловск-Камчатский, gala@emsd.ru

С 1997 г. на Камчатке проводятся специализированные наблюдения на скважинах и источниках с целью поиска гидрогеологических предвестников землетрясений. В докладе представлена история проведения работ и основные результаты 40-летних гидрогеосейсмологических исследований.

Введение. Гидрогеосейсмология – новое научное направление, развивающееся на стыке гидрогеологии и сейсмологии со второй половины XX в. Содержание гидрогеосейсмологии составляет изучение влияния сильных землетрясений на подземные воды, включая вопросы сейсмического прогнозирования. Научными основами гидрогеосейсмологии являются теоретические представления о процессах подготовки землетрясений, сопровождающиеся изменениями напряженно-деформированного состояния флюидонасыщенной геологической среды, и о чувствительности подземной гидросферы к таким процессам. Изменения параметров подземных вод при подготовке и реализации землетрясений или гидрогеосейсмические вариации – основные объекты научного интереса в гидрогеосейсмологии. Среди них выделяются гидрогеологические предвестники перед землетрясениями, ко- и постсейсмические эффекты в момент и после землетрясений.

В 1966 г. произошло разрушительное Ташкентское землетрясение, перед которым были обнаружены аномальные изменения химического состава подземных вод и газов в самоизливающихся скважинах. Такие эффекты были названы гидрогеохимическими предвестниками. Ретроспективный анализ данных равномерных наблюдений в пьезометрических скважинах перед разрушительным Ашхабадским землетрясением 1948 г. показал наличие аномальных изменений уровня воды, названных гидрогеодинамическими предвестниками. Эти и другие данные показывали, что подготовка землетрясений может отражаться в изменениях различных параметров подземных вод. Предполагалось, что совокупность таких эффектов, названных гидрогеологическими предвестниками, может использоваться при прогнозировании сильных землетрясений, в первую очередь, для оценки времени их возникновения [1].

Зарождение и развитие гидрогеосейсмологии тесно связано с принятием и реализацией национальных программ по прогнозу землетрясений в ведущих странах мира, в т.ч. в бывшем СССР. В такие программы традиционно включались наблюдения за различными параметрами подземных вод и газов.

Методическое обеспечение гидрогеосейсмологических исследований включает решение комплекса научно-технических задач, в т.ч. организацию и проведение долговременных наблюдений за физико-химическими параметрами подземных вод, выделение, описание и систематизацию эффектов сейсмичности в изменениях параметров подземных вод; разработку методов прогнозирования землетрясений с использованием гидрогеологических предвестников. В 70-х гг. XX в. в сейсмоактивных районах бывшего СССР были организованы специализированные наблюдения на скважинах и источниках с целью поиска гидрогеологических предвестников. На Камчатке такие работы проводятся с 1977 г.

История гидрогеосейсмологических исследований на Камчатке. В изучении влияния сейсмичности на подземные воды Камчатки можно выделить три этапа.

Ранний этап (до 1977 г.) характеризовался случайными наблюдениями эффектов сильных землетрясений в изменениях режима термальных скважин, источников, гейзеров. В работе [5] приводится описание изменений дебитов и температуры воды источников и самоизливающейся скважины ГК-1 на Пиначевской площади в результате 7-балльного Петропавловского землетрясения 24 ноября 1971 г., $M=7,1$. В середине 70-х гг. XX в., когда в Институте вулканологии ДВНЦ АН СССР планировалась организация специализированных наблюдений за режимом подземных вод, источники и скважина на Пиначевской площади рассматривались как наиболее перспективные объекты (устное сообщение В.М. Сугрובה).

Этап организации специализированных наблюдений на скважинах и источниках начался в декабре 1976 г. Инициатором и руководителем работ был заведующий лабораторией гидрогеологии и геотермии Института вулканологии В.М. Сугробов. Наблюдения на трех Пиначевских источниках и на скв. ГК-1 были начаты 19 декабря 1976 г. Проводились они один раз в три дня, измерялись дебиты, температура воды, отбирались пробы воды и свободного газа. В пробах определялся широкий набор компонентов состава воды и газа. В 1979 г. в связи с организацией Камчатской опытно-методической сейсмологической партии (в настоящее время Камчатский филиал Федерального исследовательского центра «Единая Геофизическая служба РАН» - КФ ФИЦ ЕГС РАН), сотрудники, которые занимались производством наблюдений, были переведены в ее состав. Руководителями группы (лаборатории) гидросейсмологии были Ю.М. Хаткевич (1979-2008 гг.), Г.В. Рябинин (2008-2016 гг.), А.В. Наумов, В.А. Полетаев (настоящее время).

В 1983-1992 гг. продолжалось создание сети специализированных гидрогеологических наблюдений в окрестностях г. Петропавловска-Камчатского: с 1983 г. проводятся наблюдения на скважине Морозная, с 1989 г. – на скважинах станции Верхняя Паратунка и с 1992 г. – на скв. Г-1 (станция Хлебозавод). На скважинах НИС-1 и Е-1 проводились наблюдения за изменениями уровней воды с использованием механических поплавковых самописцев. Данные наблюдений публиковались в Бюллетенях Камчатского полигона по прогнозу землетрясений и извержений вулканов (1982 - 1993 гг.). Большой вклад в создание сети и производство наблюдений внесли Ю.М. Хаткевич, Р.А. Шувалов, В.Н. Нечаев.

Впервые гидрогеохимические предвестники в изменениях состава воды и свободного газа в скважинах ГК-1 и Морозная были зарегистрированы перед землетрясениями 8 октября 1987 г, $M=6,6$ и 2 марта 1992 г., $M=6,9$. С использованием этих данных был предложен эмпирический алгоритм оценки опасности возникновения сильных землетрясений, сопровождавшихся сотрясениями с интенсивностью не менее 5-6 баллов по шкале MSK-64 [3, 6].

В настоящее время сеть состоит из семи самоизливающихся скважин и трех источников, на которых проводятся гидрогеохимические наблюдения по традиционной методике.

Третий этап развития специализированных гидрогеологических наблюдений был инициирован выполнением работ по ФЦП «Развитие ФССН в 1995-2000 гг.». В 1996-1997 гг. пьезометрические скважины Е-1 и ЮЗ-5 были оборудованы системами цифровой регистрации уровня воды и атмосферного давления с периодичностью 10 мин и накоплением данных на твердотельную память. В течение последующих лет дважды проводилась модернизация оборудования. С 2001 г. по настоящее время используется аппаратура производства ООО «Полином», г. Хабаровск: серии Кедр А2 с накоплением данных на твердотельную память (2001-2010 гг.) и серия Кедр-ДМ с передачей данных по каналам сотовой связи (2010 г. – настоящее время) [4]. В 2013 г. самоизливающаяся скважина Морозная также была оборудована комплектом Кедр-ДМ

для измерений температуры и электропроводности воды. Установка оборудования на скважинах и производство наблюдений проводились сектором геофизических наблюдений под руководством А.А. Смирнова. С использованием цифрового оборудования были зарегистрированы разнообразные вариации уровня воды, в т.ч. гидрогеодинамические предвестники, косейсмические скачки и разнообразные постсейсмические изменения при сильных землетрясениях 1997-2016 гг.: Кроноцком 5 декабря 1997 г., $M=7,8$; Олюторском 20 апреля 2006 г., $M=7,6$; 28 февраля 2013 г., $M=6,9$; Охотоморском 24 мая 2013 г., $M=8,3$, Жупановском 30 января 2016 г., $M=7,2$.

В течение третьего этапа в лаборатории геофизических исследований КФ ФИЦ ЕГС РАН были созданы методика оперативной обработки данных уровнемерных наблюдений, программные средства информационной системы POLYGON, с помощью которой выполняется обработка данных в режиме близком к реальному времени и ведение базы данных в составе Информационно-обрабатывающего центра КФ ФИЦ ЕГС РАН [7]; заложены научно-методические основы гидрогеодинамического метода в системе комплексного геофизического мониторинга Камчатки.

Результаты исследований. Функционирующая в КФ ФИЦ ЕГС РАН система специализированных гидрогеологических наблюдений позволяет диагностировать различные типы гидрогеосейсмических вариаций параметров подземных вод, в т.ч. гидрогеохимические и гидрогеодинамические предвестники сильных землетрясений Камчатки. По данным уровнемерных наблюдений гидрогеодинамические предвестники могут выделяться в режиме близком к реальному времени.

В результате проведения многолетних наблюдений на скважинах и источниках Камчатки обнаружены, описаны и систематизированы разнообразные изменения параметров подземных вод в связи с местными и удаленными сильными землетрясениями, в т.ч. гидрогеохимические и гидрогеодинамические предвестники, ко- и постсейсмические эффекты. На диаграмме (рисунок) показаны параметры произошедших землетрясений, которые сопровождалась различными видами гидрогеосейсмических вариаций. На ней выделена область землетрясений с магнитудами не менее 6,6 на эпицентральных расстояниях до 300 км, которые сопровождалась гидрогеологическими предвестниками с заблаговременностью от одного до нескольких месяцев. С учетом показанной связи между проявлениями предвестников в изменениях уровней, химического состава воды и параметрами землетрясений (рисунок) были сформулированы эмпирические алгоритмы среднесрочного прогнозирования сильных землетрясений Камчатки [2, 3, 6], на основе которых составляются прогнозные заключения о сейсмической опасности в Камчатском крае по данным гидрогеологических наблюдений. С использованием ретроспективного статистического анализа проявлений гидрогеологических предвестников и опыта их практического применения в режиме реального времени оценена значимость гидрогеологического метода для среднесрочного прогнозирования сильных землетрясений Камчатки.

Результаты работ по изучению процессов формирования различных видов гидрогеодинамических и гидрогеохимических эффектов сильных землетрясений в природных и геотехнических системах: «скважина – водовмещающая порода», «источник – водоносная система», «вода – порода» с применением методов гидродинамического и физико-химического моделирования представлены в ряде публикаций (см. <http://www.emsd.ru/lgi/result>).

Перспективы развития гидрогеосейсмологических исследований связаны с техническим совершенствованием системы специализированных гидрогеологических наблюдений и дальнейшим накоплением достоверных данных о разнообразных

откликах подземных вод на сейсмические воздействия, в первую очередь, о гидрогеологических предвестниках и закономерностях их связи с параметрами сильных землетрясений.

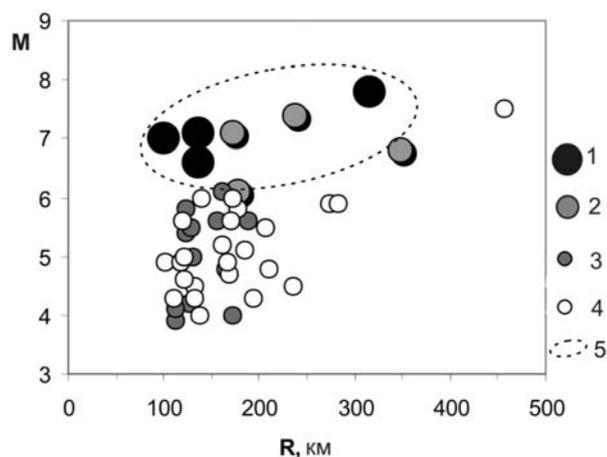


Рисунок. Проявление различных типов гидрогеосейсмических вариаций в зависимости от параметров землетрясений - магнитуды M и эпицентрального расстояния R , км: 1 – предвестниковые изменения уровней, химического состава воды и газа и их постсейсмические вариации, повышение дебитов источников; 2 – предположительные предвестниковые изменения уровней, химического состава воды и постсейсмические изменения дебитов и химического состава воды; 3 – постсейсмические изменения химического состава воды, повышение дебитов; 4 – постсейсмическое повышение дебитов источников; 5 – область параметров землетрясений M и R , перед которыми проявлялись гидрогеологические предвестники.

Список литературы

1. Киссин И.Г., Ясько В.Г., Пиннекер Е.В. Подземная гидросфера и сейсмические процессы / Основы гидрогеологии. Т. 4. Геологическая деятельность и история воды в земных недрах. Новосибирск: Наука, 1982. С. 57-78.
2. Копылова Г.Н. Изменения уровня воды в скважине Елизовская-1, Камчатка, вызванные сильными землетрясениями (по данным наблюдений в 1987–1998 гг.) // Вулканология и сейсмология. 2001. № 2. С. 39–52.
3. Копылова Г.Н., Сугробов В.М., Хаткевич Ю.М. Особенности изменения режима источников и гидрогеологических скважин Петропавловского полигона (Камчатка) под влиянием землетрясений // Вулканология и сейсмология. 1994. № 2. С. 53-70.
4. Копылова Г.Н., Болдина С.В., Смирнов А.А., Чубарова Е.Г. Опыт регистрации вариаций уровня и физико-химических параметров подземных вод в пьезометрических скважинах, вызванных сильными землетрясениями (на примере Камчатки) // Сейсмические приборы. 2016. № 4. С. 43-56.
5. Манухин Ю.Ф. Влияние землетрясений на динамику термальных вод Камчатки // Тез. докл. IX совещания по подземным водам Сибири и Дальнего Востока. Иркутск – Петропавловск-Камчатский, 1979. С. 135.
6. Хаткевич Ю.М. О возможности среднесрочного прогноза землетрясений интенсивностью свыше пяти баллов, проявляющихся в г. Петропавловске-Камчатском // Вулканология и сейсмология. 1994. № 1. С. 63-67.
7. Kopylova G.N., Ivanov V.Yu., Kasimova V.A. The implementation of information system elements for interpreting integrated geophysical observations in Kamchatka // Russ. J. Earth Sci. 2009. V. 11, ES1006, doi:10.2205/2009ES000329.